Practical and Cheap Solution of Circular Waveguide for 10 GHz

Ivo Chladek, ZS6AXT, OK2WCG

Tropo operation on microwave frequencies from home usually requires some low loss feedline to reach the antenna on the top of your tower or roof. This is of course so unless you mount your transverter, PA and LNA in a waterproof enclosure somewhere around the dish and live with the access problems when something goes wrong with it.

Before starting on my 10 GHz home tropo setup, good consideration was given to possible options. Great help were articles as listed in the references and comments from few microwave guys. In the end decision for a circular waveguide (WG), "plumber's delight" was made. The following description is certainly nothing new for many, but it may give some new ideas to others. Similar arrangement can be used for 5760 MHz and probably even for 24 GHz if a suitable size of tubing is available.

WG is certainly the feedline with lowest losses in the microwave range of frequencies. For 10 GHz it is WR90 (although WR75 can be used too), but unless you get some surplus it is expensive. In addition, one needs flanges, bends etc. and in general it is quite clumsy and heavy. Loss is about 10 dB / 100 feet, i.e. over 3 dB /10 m.

The other alternative is circular WG, which is not very often used by commercial users. However, suitable size of copper tubing is available, as used by plumbers for water installations. It is the 21mm I.D. copper tubing, with 0,5mm thick wall, which is just the right size for 10 GHz WG. In addition, straight and angle couplings are available, all of that for reasonable prices. Such copper tubing is also not as heavy as WR90 WG. There is just one disadvantage: polarization may change in the length of such WG, especially when using angle couplings, thus one end of such feedline must have adjustable polarization. However, 10 m length of this WG, assembled with three 45 degree and two straight connections, plus two coax to WG transitions has just 2,2 dB loss in my case. Similar second 10 m length measured about 0,1 dB more. This was measured in home conditions, with very basic equipment. Considering the costs, availability of materials for this WG and ease of assembly, it is really a feedline worth considering.

Coax to WG transition

This is the only bit complicated and critical part of the WG assembly. It consists of the following parts:

-Short piece of the 21mm I.D. tubing, about 15 – 25 cm long,

-Brass plate 16x16 mm, 2 mm thick,

-SMA panel mount connector with four fixing holes and the center lead of 1mm diameter, at least 9,5 mm long and

-Thin round brass plate of 22 mm diameter.

Both ends of the tubing should be square, flat and with clean smooth edges. Drill a 3 mm diameter hole exactly 12,2 mm from one end of the tubing. Prepare the SMA mounting plate by drilling 3 mm hole in the center and four SMA fixing holes tapped for M2,5 screws. Select a short stainless steel M3 screw with nut and fix the SMA mounting plate to the WG tubing. Solder together such, that the solder does not get into the tapped M2,5 holes. Remove the M3 screw and enlarge the hole to 4 mm. Clean the edges of this hole. Cut the TEFLON on the center lead of the SMA to such length, that it is just flush with the inner wall of the WG. The protruding bare center lead should be at least 6,5 mm, but rather 7 mm long, to give chance for optimization. Mount the SMA connector with four M2,5 short screws. Stainless steel type screws are the best here.

For the accurate optimization of the transition one needs a 10 GHz signal source, directional coupler and some spectrum analyzer or similar indication. If you do not have access to such equipment, cut the probe length to exactly 6,5 mm, it should be close enough to optimum. That is of course if the distance of the probe center is exactly 12,2 mm from the WG end, since the optimal probe length depends on this distance.

For the proper adjustment we need some sort of dummy load fitted to the other end of the WG since it's open end has quite a bad SWR, like 2:1. A wooden handle of a broomstick, sharpened over about 7 cm length and inserted into the WG may do the job. With the open end (probe side) the return loss will be about 10 dB. Take a metal plate (I used a PCB off-cut) and move it to this WG end. When just few mm away from the open end, return loss will increase, usually well over 20 dB. With a file, remove a small piece of the probe. Do not cut it with sidecutters, you may shorten it too much! After each probe shortening, maximum of return loss should be with the metal plate closer to the WG end. Shorten the probe few times, until return loss maximum is with the metal plate pressed to the end of WG. It should be at least 25 dB, in my case close to 30 dB. Accuracy of such measure-

ment depends on the quality of directional coupler, it's lower coupling will give more accurate results.

After optimization, solder thin layer of solder onto the edge of the WG and then solder the round plate to cover the WG end. It must be watertight, if used outside. Check the return loss, it should be the previously measured optimum value.
Solder the straight coupling to the open end such, that the WG goes to about the center of it. For the coax to WG transition which will be in the shack, make few longitudinal cuts into the other end of coupling with a thin hacksaw, since this end will be fixed to the incoming WG by means of a hose pipe clamp, so that the polarization can be optimized.
The above described technique of the probe length adjustment was used here also for the optimization of 10 GHz W2IMU horn, which is probably the best choice for dishes with f/D= 0,5 – 0,6. In this case one does not need the WG dummy load. Horn should be however aimed into reasonably open, reflections free space, during measurements.

WG assembly and alignment

Surprisingly, assembly of the WG parts is not critical. It is advisable to clean the inside of the tubing before assembly. In the straight couplings, ends of the WG tubing should be square, cleaned and touching each other. In the angle couplings push the tubing ends as far as possible. The easiest way is to assemble most of the WG run on the ground; it is quite difficult to do good soldering of the joints up in the air. Gas torch soldering irons are best suited for this job. All joints should be watertight. Do not use any acidic solder flux. According to W1GHZ not more than 45 degree angle couplings should be used for best results. After assembly, inject signal into the shack side of the WG and measure output at the other end. This should be terminated by a good 50 Ohm load with a detector. By slow turning of the coax to WG transition in the shack adjust for maximum output at the other end and fix the position with the hose pipe clamp.

Some practical applications

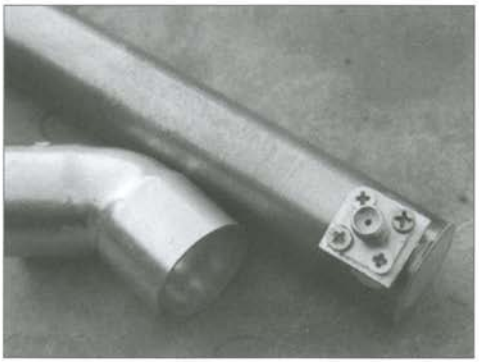
There are many practical applications of such circular WG. These are not only for tropo, but also for EME use. Sensitive equipment like transverter can stay in the ham shack, while only PA and LNA will be outside, close to the feedhorn, together with the coaxial relay. Due to the low loss in such WG, drive level for the PA can be low and the LNA does not need to have high gain.
In my case I use two runs of the WG for tropo, since the transverter has separate outputs for TX and RX. Thus only one coaxial relay is necessary. With a single WG run two more coaxial relays may be required. Saving of two such relays will more than cover the cost of the second WG. When using a TWT for tropo, it can be mounted in the ham shack, some 3 dB loss in the WG may be tolerated, considering how many problems with the HV PSU will be eliminated.
And for further experimentation: Bit larger diameter tubing, about 35 mm can be used for two bands WG, namely 3 and 6 cm. However, dimensions of the coax to WG transitions will have to be recalculated since these depend on the WG wavelength. Necessary details can be found in the W1GHZ article listed in References. Coax to WG transitions, one for each band, could be perhaps at right angles; it may work.

Measuring equipment used

Coax to WG transition: HP signal generator, HP 141 spectrum analyzer and 20 dB directional coupler.
WG loss measurement: 200 mW signal from transverter, diode detector calibrated with the use of 1dB SMA attenuators, 20 dB directional coupler and 50 Ohm SMA microwave dummy load.
The above measuring equipment is certainly not "state-of-art", but for amateur conditions it was found good enough, after the measured results were confirmed by few contacts.

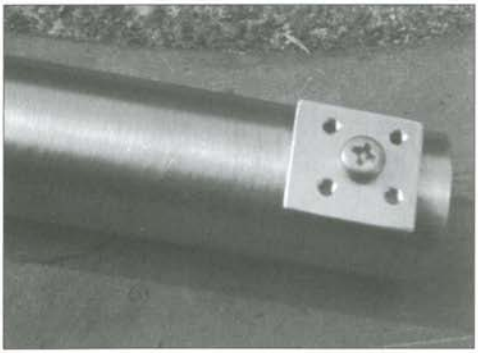
References

Proceedings of Microwave Update 1999:
-Paul Wade, W1GHZ: Understanding Circular Waveguide – Experimentally.
-Dick Knadle, K2RIW: Circular Waveguide Frequencies, More Accuracy, More Experiment Data.

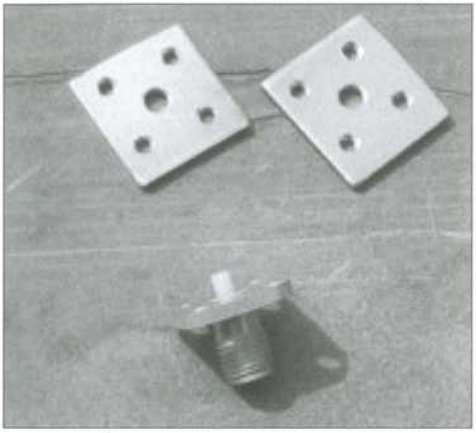


Complete transition and 45 degree coupling

Der Übergang und ein 45 Grad - Verbinder



Brass plate fitted for soldering
Die Messingplatte vor dem Verlöten



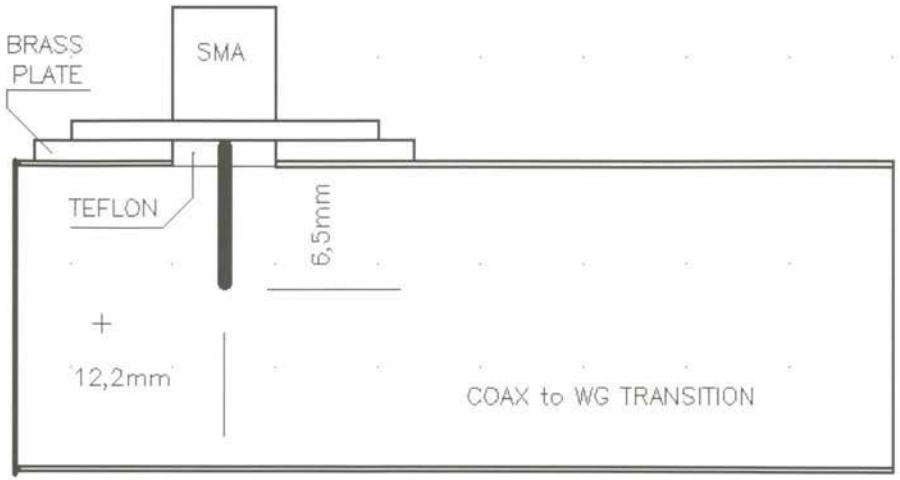
SMA and brass plates
SMA-Flanch und Messingplatten

Complete transition
Der fertige Koax-Wellenleiter-Übergang

Ein praktischer und günstiger zirkularer Wellenleiter für 10 GHz

Ivo Chladek, ZS6AXT, OK2WCG

Tropo-Betrieb auf den Mikrowellenbändern von der häuslichen Station aus erfordert ein sehr dämpfungsarmes Kabel zur Antenne auf der Spitze des Mastes bzw. Daches. Natürlich nur, wenn



Tranverter, PA und LNA nicht in einem wasserdichten Gehäuse direkt am Spiegel untergebracht sind. Dann hat man aber ggf. Probleme mit dem Zugang, wenn mal etwas nicht funktioniert.
Bevor ich zuhause meine Tropo-Station für 10 GHz aufgebaut habe, wurden Überlegungen über alle möglichen Optionen angestellt. Sehr hilfreich dafür waren die in den Referenzen aufgelisteten Artikel und auch einige Kommentare von ein paar Mikrowellen-OPs. Letztendlich fiel die Wahl auf einen runden Wellenleiter (Waveguide, WG) der Marke „Klempners Wonne"
Die folgende Beschreibung mag sicherlich für viele nichts Neues sein, kann aber Anregung für neuen Ideen für einige sein.
Eine ähnliche Konstruktion kann auch für 5760 MHz und wahrscheinlich auch für 24 GHz verwendet werden, sofern passende Rohrdurchmesser zur Verfügung stehen.

Der Wellenleiter ist sicher die dämpfungsärmste Möglichkeit Mikrowellen zu übertragen. Für 10 GHz wird WR90 (WR75 kann aber auch verwendet werden) verwendet. Das ist sehr teuer, sofern man nicht Zugang zu günstigem Surplus-Material hat. Außerdem braucht man spezielle Flansche, Krummüngen etc. Das ganze wird recht schwer und ziemlich klobig. Die Dämpfung liegt bei 10db/100feet, d.h. etwas über 3dB / 10m.
Die Alternative dazu ist runder Wellenleiter, der im kommerziellen Bereich recht selten eingesetzt wird. Es gibt jedoch eine passende Größe von Kupferrohr, das von Klempnern für Wasserleitungen verwendet wird. Es handelt sich um ein Rohr mit 21mm Innendurchmesser und einer Wandstärke von 0.5mm. Dies ist eine passende Größe für 10 GHz. Natürlich gibt es passende Winkel und gerade Stücke, die auch verwendet werden können. Und das alles zu akzeptabelen Preisen. So ein Kupferrohr ist sogar leichter als WR90. Es gibt nur einen Nachteil: Die Polarisation kann kann sic him Laufe eines solchen Wellenleiters ändern, besonders wenn Winkelstücke verwendet werden. Deshalb ist es nötig, an einem Ende des Wellenleiters die Polarisation einstellen zu können.
Immerhin haben 10m dieses Wellenleiters, mit drei 45 Grad Winkel-Stücken und 2 geraden Verbindungsstücken plus zwei Koax-WG-Übergängen, nur 2,2 dB Verlust bei mir. Bei einem zweiten 10m langen Aufbau wurden 0.1 dB mehr gemessen. Dies wurde amateurmäßig mit einfachen Messgeräten gemessen-
Wenn man über die Kosten, die Verfügbarkeit des Materials und die Einfachheit des Zusammenbaus dieses Wellenleiters nachdenkt, kann diese Lösung wirklich bedenkenwert sein.

Der Übergang von Koax auf Wellenleiter

Dies ist der einzige etwas komplizierte und kritische Teil dieses Wellenleiters. Der Übergang besteht aus folgenden Teilen:

- Ein kurzes 15 bis 25 cm langes Stück des 21mm Kupferrohres
- Eine 2mm starke Messingplatte 16 x 16 mm
- Eine SMA-Flanschbuchse mit 4 Löchern zum Festschrauben, Innenleiter 1mm Durchmesser und mind. 9.5mm lang
- Eine dünne runde Messingplatte mit 22mm Durchmesser

Beide Enden des Rohres müssen sauber senkrecht abgesägt sein und die Kante glatt gefeilt werden. Dann wird ein 3 mm Loch exakt 12,2 mm von einem Ende des Rohres gebohrt.
In die Messingplatte für die SMA-Buchse wird in die Mitte ein 3mm Loch gebohrt sowie vier Löcher mit Gewinde für M2,5 Schrauben. Mit einer kurzen M3 Edelstahlschraube und Mutter wird die Platte am Rohr fixiert. Nun wird die Platte angelötet. Dabei aufpassen, dass kein Lot in die vier Löcher für die M2.5 Schrauben läuft. Nun die M3-Schraube entfernen und das Loch auf 4mm vergrößern und entgraten und glatt schleifen.
Das Teflon, das um den Innenleiter der SMA-Buchse liegt wird nun so beschnitten, dass es genau bündig mit der Innenwand des Rohres verläuft und nicht mehr übersteht.
Der nach innen ragende Innenleiter der Buchse sollte mindestens 6,5 mm überstehen, besser sollten es 7mm sein, um Optimieren zu können.
Nun die SMA-Buchse mit den vier kurzen M2.5 Schrauben befestigen. Möglichst Edelstahl-Schrauben verwenden.
Um eine gute Optimierung des Übergangs zu erreichen, benötigt man eine 10 GHz Signalquelle, einen Richtkoppler, eine Spektrum Analyzer oder ähnliche Indikatormöglichkeit. Falls keine Meßmöglichkeit vorhanden ist, sollte der Innenleiter auf exakt 6.5mm gekürzt werden. Damit sollte man dicht genug am Optimum liegen. (siehe Abb.)
Der Wert gilt natürlich nur, wenn der Abstand exakt 12,2mm vom Rohrende beträgt. Die optimale Länge des Innenleiters hängt von seiner Entfernung vom Rohrende ab!
Für eine richtige Justierung muss eine Art Dummy Load an das andere Ende des Wellenleiters angeschlossen werden, da dieser im offenen Zustand ein ziemlich schlechtes SWR von etwa 2:1 hat.
Ein Stück hölzerner Besenstiel, der auf 7cm Länge dem Rohr angepasst wurde und in den Wellenleiter eingeführt wird, kann die Dummy Load Funktion erfüllen. Wenn das Ende der Einkoppelseite des Wellenleiters offen ist, beträgt der Return Loss etwa 10 dB.
Führt man eine Metallplatte (z.B. einen Abschnitt PCB) an dieses offene Ende heran, geht der Return Loss einige mm bevor man das Rohr erreicht, auf gut über 20 dB.

Nun mit einer Feile den Innenleiter ein kleines Stück kürzen. Hiebei keine Zange benutzen, man könnte damit zuviel abschneiden.
Nach jedem Kürzen des Innenleiters rückt das Maximum des Return Loss immer näher an das Rohrende heran. Nach einigen Kürzungen sollte das Maximum dann erreicht sein, wenn die Platte fest ans Rohr gepresst wird. Es sollten wenigstens 25 dB erreicht werden. Bei mir wurden knapp 30dB erreicht. Die Genauigkeit der Messung hängt von der Qualität des Richtkopplers ab, eine niedrigere Auskopplung wird genauere Ergebnisse liefern.
Nach der Optimierung wird eine dünne Schicht Lot auf das Ende des Rohres aufgebracht und die Messingscheibe aufgelötet. Falls dieses Stück im Freien eingesetzt werden soll muss dieser Abschluß wasserdicht sein. Anschließend noch mal den Return Loss überprüfen. Es sollte der zuvor eingestellte optimale Wert sein.
Nun wird eine gerade Rohrkupplung auf das offene Ende so gelötet, dass das Rohr zentriert verläuft.
Am Koax-Wellenleiter-Übergang, der sich im Shack befindet, werden mit einer feinen Metallsäge einige Schnitte längs auf der Rohrseite gegenüber der Einkopplung gemacht. Dieses Ende wird nämlich dort mit einer Rohrschelle gegenüber dem ankommenden Wellenleiter befestigt, so dass die Polarisation eingestellt bzw. optimiert werden kann.
Die oben beschriebene Technik der Justierung der Länge des Innenleiters wurde auch für die Optimierung des 10 GHz Horns nach W2IMU benutzt, das wahrscheinlich das beste Horn für Spiegel mit einem f/D von 0,5 bis 0.8 ist.
In diesem Fall braucht man auch keine Dummy Load im Wellenleiter: Man benutzt das Horn, das während der Messungen aber in möglichst offenen reflektionsfreien Raum zeigen sollte.

Zusammenbau und Justierung des Wellenleiters

Überraschenderweise ist der Zusammenbau der teile des Wellenleiters unkritisch. Ratsam ist es, das Innere der Rohre vor dem Zusammenbau zu säubern.
In den geraden Kupplungsstücken sollen die Enden des Wellenleiterrohres gerade und sauber einander berühren. Bei den gewinkelten Verbindungsstücken sollen die Enden des Rohres so weit wie möglich hineingedrückt werden. Am einfachsten ist es, möglichst viel des ganzen Wellenleitersystems auf dem Boden liegend zusammen zu löten. Es ist recht schwierig, die Verbindungen hoch in der Luft vernünftig zu verlöten. Am besten lötet man mit einem Gasbrenner. Alle Verbindungen müssen wasserdicht sein. Säurehaltiges Lotzinn sollte nicht verwendet werden.
W1GHZ empfiehlt keine Winkel von mehr als 45 Grad zu verwenden, um beste Ergebnisse zu erhalten.
Nach dem kompletten Zusammenbau wird im Shack ein Signal eingespeist und der Output am anderen Ende gemessen, das mit einer 50 Ohm-Last und einem Detektor abgeschlossen wird.
Nun wird der Koax-Wellenleiter-Übergang im Shack langsam gedreht, bis der Output am anderen Ende maximal ist. Diese Position wird dann im Shack mit einer Schelle fixiert.

Praktische Anwendung

Es gibt viele praktische Anwendungsmöglichkeiten für derartige runde Wellenleiter. Sie können nicht nur für eine Tropo-Anlage, sondern auch bei EME eingesetzt werden. Empfindliche Teile der Anlage wie der Transverter können im Shack bleiben, PA und LNA können nahe der Antenne zusammen mit dem Relais montiert werden. Wegen des geringen Verlustes des Wellenleiters braucht man weniger Treiberleistung und auch der LNA braucht nicht so viel Verstärkung zu haben.
Ich selbst benutze zwei solche Wellenleiter für meine Tropo-Anlage, da mein Transverter getrennte Ausgänge für TX und RX hat. So brauche ich nur ein Koaxrelais.
Mit nur einem Wellenleiter werden zwei weitere Koaxrelais benötigt. Deren Einsparung deckt die Kosten für den zweiten Wellenleiter mehr als ab.
Wenn man für Tropo eine PA mit einer TWT benutzt, kann diese im Shack verbleiben. Die 3 dB Verlust sind hinnehmbar, wenn man die Probleme bedenkt, die das HV-Netzteil bereiten kann.
Zum weiteren Experimentieren bietet sich Rohr mit einem etwas größerem Durchmesser von 35mm an, das für 2-Band-Wellenleiter, nämlich für 3cm und 6cm benutzt werden kann. Jedoch müssen dann die Koax-Wellenleiter-Übergänge neu dimensioniert werden. Details findet man in dem Artikel von W1GHZ, der in den Referenzen genannt ist. Koax-Wellenleiter-Übergänge für jedes einzelne Band, könnten dann ggf. bei richtigen Winkeln realisiert werden.

Verwendete Meßgeräte

Koax-Wellenleiter-Übergänge: HP Signalgenerator, HP141 Spektrumanalysator, 20dB Richtkoppler.
Wellenleiter, Messung der Verluste: 200 mW Signal aus dem Transverter; Dioden-Detektor, geeicht mit 1dB SMA-Dämfungsgliedern, 20DB Richtkoppler; 50-Ohm-SMA-Mikrowellen-Dummy-load.
Dieses Meß-Equipment ist sicher nicht der Stand der Technik, für Amateurzwecke wurde es aber als ausreichend empfunden, nachdem die gemessenen Ergebnisse durch einige QSOs bestätigt werden konnten.